La mouillabilité des sols. — I. Sables d'origines diverses. Coefficient de mouillabilité.

Par J.-M. Turmel.

Dans deux articles précédents, j'ai montré combien était différente la valeur de la percolation dans les diverses parties des dunes maritimes de Normandie. J'ai alors mis en évidence par toute une série d'expériences qualitatives que les grains de sable des dunes fixées étaient enrobés d'une mince pellicule organique. Il restait à préciser quelle était la nature de ce film organique, à voir si ce phénomène était général pour des sables d'origines très diverses et surtout à essayer de trouver des résultats quantitatifs pour la mouillabilité de ces sables.

Les analyses ont porté principalement 1° sur deux sables entièrement siliceux de la forêt de Fontainebleau, recueillis au Mont Chauvé, l'un en profondeur, l'autre en surface ; 2° sur trois sables calcaires, l'un d'origine terrestre, à Isle-les-Meldeuses, les deux autres provenant de dunes maritimes de la côte Ouest du Cotentin, sur la commune d'Agon (Manche), au lieu-dit le Mont-à-Regret, pris tous deux en surface, l'un sur une pente exposée au Sud colonisée par l'association du *Tortuletum*, l'autre sur une pente exposée à l'Ouest avec une végétation correspondante à l'association *Galium littorale* et *Sedum acre*.

Pour poursuivre ces expériences de mouillabilité, un appareillage des plus simples a été réalisé : un très grand entonnoir conique en verre à angle d'ouverture faible est fixé à un lourd bâti de bois. Le tube dont la section a au minimum un centimètre, est prolongé par un gros tube de caoutchouc fermé par une pince à pression, ce qui permet de prélever sans turbulence, à différents intervalles de temps, les fractions de sable qui se sont sédimentées dans le fond de l'entonnoir. De ces observations résulte la possibilité de tracer la courbe représentative de la fonction $p(t)$ du poids total de sable sédimenté à chaque instant t.

Au préalable, j'ai vérifié expérimentalement qu'aucun dépôt ne persistait sur les parois intérieures de l'entonnoir et que par conséquent les fractions recueillies correspondaient bien aux quantités de sable sédimentées.

La durée des expériences a été ordinairement de 8 heures, mais certaines ont été arrêtées à 4 heures et d'autres ont été prolongées

jusqu'à 19 heures. Il faut d'ailleurs remarquer que les résultats de beaucoup les plus intéressants sont donnés dans les premières minutes de l'expérience.

Les expériences ont été faites sur des sables naturels, c'est-à-dire n'ayant subi qu'un séchage, puis sur des sables lavés énergiquement avec de la soude à 1 % sous atmosphère de gaz carbonique (ce qui avait pour but d'enlever l'humus libre, c'est-à-dire, pour les sables non calcaires, la presque totalité) et enfin sur des sables lavés à l'eau oxygénée à 30 volumes de façon à détruire toute la matière organique dans l'échantillon.

Sables d'origines diverses.

Isles-les-Meldeuses.

Ce sable, très faiblement calcaire (0,2 %), avec très peu de matière organique (0,4 %), possède à l'état naturel un faible pouvoir hygroscopique (0,25) ; sa teneur en humus est nulle.

Deux expériences de mouillabilité ont été faites : 90 % de sable tombe avant deux minutes ; après ce temps, les pourcentages de grains qui précipitent deviennent de plus en plus faibles et sont toujours inférieurs à 0,5 %. Ainsi dans l'expérience N° 10, au bout de 5 heures, 91 % de sable étaient sédimentés ; et une mesure faite après 19 heures montre seulement une sédimentation de 91,6 %. On peut dire que ce sable est extrêmement mouillable et l'on en trouve l'explication dans sa très faible teneur en matières humiques.

Lavé à l'eau oxygénée à 30 volumes, on constate (exp. N° 18) très peu de différences, du moins au début. Ainsi, au bout de 30 secondes, 93 % du sable est sédimenté, au bout d'une minute 96 % et en fin d'expérience, au bout de 19 heures, près de 98 %, valeur un peu plus forte que celle trouvée pour les sables à l'état naturel. Cette différence correspond à la matière organique présente dans l'échantillon naturel (0,4 %) ou absente dans l'échantillon lavé à H^2O^2.

Fontainebleau ; Mont-Chauvé, en profondeur.

Ce sable, entièrement siliceux, prélevé à une cinquantaine de centimètres sous une lande à *Calluna*, possède 3 % de matière organique et a un pouvoir hygroscopique (2 %) nettement supérieur à celui du sable d'Isle-les-Meldeuses.

Pour un sable seulement séché (exp. N° 5) la sédimentation est plus lente et par conséquent la mouillabilité est moindre que pour le sable d'Isle-les-Meldeuses pris dans les mêmes conditions. En effet au bout de deux minutes, 13 % du sable seulement est sédimenté et 22 % seulement est précipité après 19 heures d'expériences.

Au contraire, quand le sable a subi préalablement plusieurs

lavages à la soude (exp. N° 13), l'on constate qu'après 30 secondes 93 % des sables sont déjà totalement mouillables et au bout de 3 heures 96 % ; cette valeur restant sensiblement la même au bout de 18 heures d'expérience. On peut dans ce cas conclure que les acides humiques enlevés par le lavage répété à la soude sont, pour une très grande part, les responsables de la faible mouillabilité constatée pour le sable à l'état naturel.

Fontainebleau ; Mont-Chauvé, en surface.

Ce sable, entièrement siliceux comme le précédent, possède par contre plus de matière organique (9,2 %) et a un pouvoir hygroscopique nettement supérieur (6,9 %). Pour ce sable, uniquement séché à l'étuve la sédimentation est encore beaucoup plus faible puisque dans les deux expériences seulement 1,5 % (exp. N° 6) et 0,3 % (exp. N° 12) étaient sédimentées au bout de 2 minutes et que, au bout de 20 heures, le pourcentage total de sédimentation se stabilisait à 3,34 % pour l'exp. N° 6 et 3,68 % pour l'expérience N° 12, valeurs bien inférieures à celles trouvées pour les sables précédemment étudiés.

Après lavage à la soude les résultats rappellent les précédents, puisque 72,2 % (exp. N° 14) sont déjà sédimentés au bout de 30 secondes et 77,6 % au bout de 4 heures.

Le lavage à l'eau oxygénée donne un pourcentage de sédimentation de 84,8 % après 15 secondes, 90 % au bout d'une minute et 95,3 % au bout de 19 heures. Comme pour les sables de profondeur on peut donc dire que les acides humiques enlevés par les lavages à la soude sont les agents actifs de la non mouillabilité de ces sols.

Mont-à-Regret, pente Sud.

Ces sables (deux prélèvements), sans carbonates ou presque (0,2 %) sont peu riches en matière organique (2 %). A l'état naturel ces sables sont peu mouillables ainsi que le montrent les expériences N°s 8 et 32 : ainsi, au bout de 2 minutes seulement 2,4 % sont sédimentés dans la première expérience et 1,52 dans la seconde et enfin seulement 4,2 et 2,5 respectivement au bout de 4 heures.

Après lavage à la soude (exp. N° 16) vu la faible teneur en calcaire la mouillabilité augmente dans de fortes proportions puisque, déjà au bout de 30 secondes 43,6 % sont sédimentés. Le pourcentage de sédimentation au bout de 4 heures : 47,8 et au bout de 19 heures : 47,9 montre que l'action de la soude, quoique efficace, n'a pas totalement enlevé les substances inhibant la mouillabilité ; ceci concorde avec ce que l'on sait de l'action de la soude sur les sols calcaires qui retiennent dans un complexe calcique non soluble à la soude une partie de l'humus.

Le lavage à l'eau oxygénée (exp. N° 20) amène la sédimentation dès les 15 premières secondes à 97,8 % et le pourcentage total de sédimentation au bout de 4 heures est de 99,7.

Mont-à-Regret, pente Ouest.

Avec ce sable, très voisin du précédent (même teneur en carbonates, mais avec plus de matière organique : 9 %), on retrouve des résultats assez semblables : faible mouillabilité, 4,6 % au bout de 2 minutes, 8,3 % au bout de 4 heures à l'état naturel (exp. N° 8) et après lavage à la soude (exp. N° 15), 25,1 % au bout de 30 secondes, 28,0 au bout de 4 heures et 28,2 au bout de 19 heures. On voit ici qu'il reste une forte proportion d'humus après lavage à la soude, ce qui est cause de la faible mouillabilité constatée après ce lavage.

L'action de l'eau oxygénée donne, comme ci-dessus, des pourcentages extrêmement élevés, soit 97,7 % au bout de 15 secondes.

Sables maritimes.

Des essais de mouillabilité sur plusieurs sables à l'état naturel tirés des dunes maritimes de l'Ouest du Cotentin (Agon, Manche) ont été exécutés, afin de vérifier si ces phénomènes de mouillabilité présentaient une réelle constance. J'avais dans un précédent travail [1] montré les variations de composition physique et chimique de ces sols, peu importantes, sauf celle de la matière organique. Les résultats que mettent en évidence les nombres des cinq dernières colonnes du tableau montrent, sans qu'aucune analyse détaillée ait été faite pour ces échantillons, des pourcentages notablement différents entre eux, quoique cependant assez faibles en valeur absolue suivant les teneurs en matière organique. Les pourcentages les plus élevés correspondent aux stations les plus humides (panne humide au pied du Mont-à-Regret, exp. N° 28) et les plus faibles à des pelouses sèches (pelouse haute de la panne des sabliers, exp. N° 31 et pelouse à *Cladonia*, au Mont-à-Regret, exp. N° 27). Il semble qu'une forte teneur en matière organique facilite pour ces sables, dans certaines proportions, la mouillabilité, ce qu'on avait déjà pu constater sur les expériences du Mont-à-Regret, pentes Sud et Ouest. Il sera donc nécessaire de rechercher par la suite les teneurs en matières humiques et non plus les teneurs en matières organiques totales et de préciser les pourcentages des diverses fractions d'humus.

Coefficient de mouillabilité.

Cet ensemble d'expériences va permettre maintenant de préciser la notion de mouillabilité d'un sable.

1. Végétation de la Côte Ouest du Cotentin. *Mem. Mus. nat.*, nouv. sér., t. XXVIII fasc., p. 1-72.

Comment juge-t-on de la plus ou moins grande mouillabilité d'un sable ? Deux faits interviennent dans la notion usuelle qu'on a de la mouillabilité. En premier lieu, c'est le poids total sédimenté en un temps donné (4 heures par ex.), temps après lequel les pourcentages de sable sédimenté doivent être très faibles et très sensiblement les mêmes pour les différents sables (de l'ordre du centième du poids total). Mais ce renseignement ne peut à lui seul donner une idée exacte de la mouillabilité, comme le montre la remarque suivante. Considérons deux sables donnant au bout du même temps le même poids de sable sédimenté, avec le seul caractère précédent il faudrait les considérer comme de mouillabilité égale ; mais, si pour l'un l'allure de la sédimentation est sensiblement régulière et si pour l'autre au contraire, il tombe brusquement au début un gros pourcentage de grains, suivi de très faibles sédimentations, comment distinguer entre ces deux sables ?

Si l'on trace les deux courbes représentant la fonction $p(t)$ de la somme des pourcentages des grains tombés par rapport au temps, on obtient deux diagrammes de mêmes extrémités aux abscisses o et T. Considérant alors les aires des portions de plan coordonné (pourcentages-temps) comprises entre 1° l'axe des temps ; 2° une parallèle à l'axe des pourcentages à l'abscisse du temps total T et 3° les courbes représentant le phénomène, on constate que l'aire de la courbe qui correspond au sable a sédimentation régulière est inférieure à celle de l'autre sable : c'est la différence entre ces aires qui distingue ces deux sables ; on est donc amené à se servir d'une telle aire pour caractériser la mouillabilité d'un sable. On sait que la mesure de cette aire est la valeur de l'intégrale définie de la fonction $p(t)$ entre les limites de temps o et T de l'expérience. Il ne peut être question de calculer exactement cette intégrale puisque la représentation analytique de la fonction $p(t)$ est inconnue ; on en calculera donc une approximation par une des méthodes usitées en pareil cas, par exemple, par la somme des aires des rectangles exinscrits, qui donne ici une approximation suffisante, vu l'allure de la courbe. Justement les données successives de l'expérience permettent d'exécuter rapidement et simplement ce calcul.

On portera en ordonnées les pourcentages des poids totaux successivement sédimentés et en abscisses les divers temps où l'on a noté les sédimentations. Appelant K_i les pourcentages des sédiments successivement recueillis, t_i les divers temps des mesures et T la durée totale choisie pour établir le calcul, toutes valeurs fournies par le tableau, l'aire de la courbe s'exprime alors par la formule

$$A = \Sigma K_i (t_i - t_{i-1})$$

Lieu de récolte	Isles-lès-Meldeuses		Fontainebleau-M[t] Chauvé					Mont a Regret-Agon					
			profondeur		en surface			Pente Sud				Pente	
trait[t]	séché	H^2O^2	séché	NaOH	séché	NaOH	H^2O^2	séché	séché	NaOH	H^2O^2	séché	NaO
n[os] exp.	10	18	5	13	12	14	21	8	32	16	20	9	15
15[s]	—	77,5	—	—	—	—	84,8	—	0,44	—	97,8	—	—
30[s]	—	93,8	—	93,2	—	72,2	87,9	—	0,84	43,6	98,6	—	25,
1[m]	89,3	96,1	—	95,2	—	74,3	90,4	—	1,28	47,3	98,7	—	26,
2[m]	90,3	97,2	13,2	95,5	0,3	75,8	91,5	2,4	1,52	47,3	98,8	4,6	26,
5[m]	90,6	97,3	13,8	95,6	0,4	76,6	92,1	2,7	1,84	47,4	98,8	5,6	26
10[m]	90,8	97,4	14,6	95,7	0,5	76,8	92,6	2,9	1,94	47,5	98,9	6,1	27,
20[m]	90,9	97,5	15,3	95,8	0,6	77,1	93,2	3,2	2,04	47,6	98,9	6,6	27
40[m]	91,1	97,6	16,0	95,8	0,7	77,3	94,4	3,6	2,10	47,6	99,0	7,6	27
80[m]	91,2	97,6	17,4	95,9	0,8	77,4	94,6	3,7	2,20	47,7	99,5	8,0	27
2[h]	91,3	97,7	17,8	95,9	1,1	77,5	94,8	3,9	2,30	47,8	99,6	8,3	27
4[h]	95,5	97,9	19,4	96,1	1,3	77,6	95,0	4,2	2,50	47,8	99,6		28
8[h]	95,6	97,9	19,7	96,1	2,0	77,6	95,1		2,74	47,8	99,6		28
19[h]	95,6	97,9	22,5	96,1	3,7	77,6	95,3			47,9	99,7		28
m^4	88,6	97,7	18,1	95,5	1,0	77,5	94,6	3,9	2,4	46,5	99,5		27
m^8	92,0	97,7	18,8	95,8	1,15	77,5	94,8		2,5	47,7	99,5		27
m^{19}	95,5	97,8	20,9	95,9	2,6	77,6	95,1			48,0	99,6		28

Divisant cette expression par le temps total T nous obtiendrons un *nombre* égal à $\frac{A}{T}$.

Ce nombre m qui donne aussi une mesure de l'aire indiquée tient compte à la fois du poids final de sédiment et de l'allure plus ou moins régulière des sédimentations successives : c'est lui que je nomme le COEFFICIENT DE MOUILLABILITÉ.

Son emploi permet une détermination et une classification précise au point de vue quantitatif des phénomènes de mouillabilité.

Il faut toutefois insister sur ce que le calcul de m doit être fait d'après un temps total T tel que la sédimentation soit devenue et reste très faible, ce qui oblige à fixer cette valeur de T d'après la nature des sols étudiés. On pourra donc, le cas échéant, utiliser un coefficient m correspondant à diverses valeurs de T, par exemple 4 ou 8 ou 19 heures.

Bien entendu, la comparaison de la mouillabilité des sols grâce aux valeurs de m sera d'autant meilleure que les sols auront été expérimentés pendant le même temps total. Mais en fait, pratiquement, il apparaît que 1° une même valeur de T permet la comparaison d'une gamme assez largement étendue de sols et que 2° pour des durées telles que 4,8 et 19 heures p. ex. les coefficients m_4, m_8, m_{19} correspondants gardent la même valeur à une unité et même 1/10me près, à de rares exceptions. C'est ce que montrent, à titre d'exemple, les valeurs des m_4, m_8, m_{19}, donnés dans le tableau, des divers sols étudiés dans cet article. Il restera à confirmer les indications précédentes au moyen d'expériences sur des sables d'origine très diverses qui sont actuellement à l'étude.

Laboratoire de Culture du Muséum.

Le Gérant : Marc ANDRÉ.

ABBEVILLE. — IMPRIMERIE F. PAILLART. — 15-5-1952.